

# PROJECTION ALIGNER, EXPOSURE METHOD, AND DEVICE- MANUFACTURING METHOD

Patent number: JP2000286189  
 Publication date: 2000-10-13  
 Inventor: OTA KAZUYA  
 Applicant: NIKON CORP  
 Classification:  
 - international: H01L21/027; G03F7/20  
 - european:  
 Application number: JP19990094315 19990331  
 Priority number(s):

Also published as:

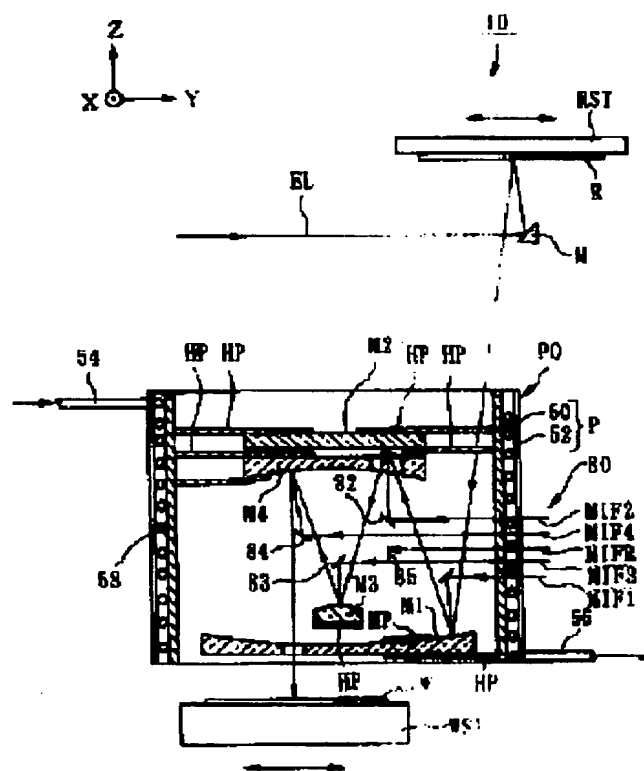
 US6549270 (B1)

Report a data error here

## Abstract of JP2000286189

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a projection aligner, an exposure method, and a device- manufacturing method for correcting a projection optical system and maintaining exposure performance, even if the projection optical system fluctuates.

**SOLUTION:** In a projection aligner 10, positional information such as positions, inclinations, and shapes of a first mirror M1, a second mirror M2, a third mirror M3, and a fourth mirror M4 composing a projection optical system PO are measured by a mirror monitoring mechanism 80, and the positions, inclinations, shapes, and the like of the first mirror M1, the second mirror M2, the third mirror M3, and the fourth mirror M4 are corrected by an actuator, that is a correction mechanism based on the positional information obtained.



Data supplied from the esp@cenet database - Patent Abstracts of Japan

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2000-286189

(P2000-286189A)

(43)公開日 平成12年10月13日(2000.10.13)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

識別記号

FI

テーマコート\* (参考)

H01L 21/027

H O 1 L 21/30

531A

2H097

G O 3 F 7/20

503

G 0 3 F 7/20

503

**5 F 0 4 6**

審査請求 未請求 請求項の数16 O.L (全 15 頁)

(21)出願番号

特願平11-94315

(22)出願日

平成11年3月31日(1999.3.31)

(71)出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72)発明者 太田 和哉

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内

(74) 代理人 100064908

弁理士 志賀 正武 (外5名)

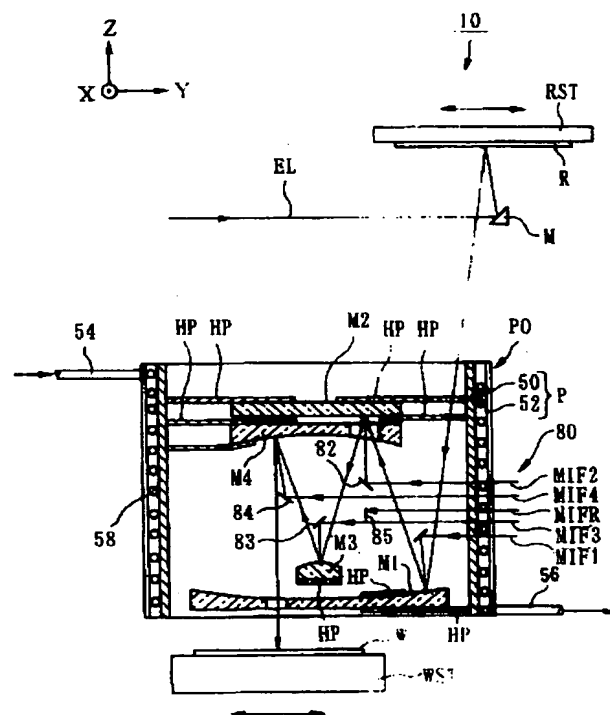
**最終頁に続く**

(54) 【発明の名称】 露光装置および露光方法ならびにデバイス製造方法

(57) 【要約】

【課題】 投影光学系に変動が生じた場合にも、それを補正して、露光性能を維持することのできる露光装置および露光方法ならびにデバイス製造方法を提供することを課題とする。

【解決手段】 露光装置１０では、投影光学系ＰＯを構成する第１ミラーＭ１、第２ミラーＭ２、第３ミラーＭ３、第４ミラーＭ４の位置や傾き、形状等の位置情報をミラーモニター機構８０で計測し、得られた位置情報に基づき、補正機構であるアクチュエータで、第１ミラーＭ１、第２ミラーＭ２、第３ミラーＭ３、第４ミラーＭ４の位置や傾き、形状等を補正する構成とした。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 マスクに形成されたパターンを露光光で照明し、投影光学系を介して基板上に転写する露光装置であって、

前記投影光学系は、少なくとも一つの反射型光学素子を有し、かつ前記反射型光学素子における前記露光光の照射位置での位置情報を検出する検出手段と、前記位置情報に基づき前記光学素子を補正する補正手段とを備えていることを特徴とする露光装置。

【請求項2】 前記検出手段では、一つの前記反射型光学素子に対し、複数の位置で前記位置情報を検出することを特徴とする請求項1記載の露光装置。

【請求項3】 前記マスクが反射型であることを特徴とする請求項1または2記載の露光装置。

【請求項4】 前記露光光がExtreme Ultra Violet光であり、かつ前記投影光学系を構成する光学素子が全て反射型光学素子であることを特徴とする請求項1から3のいずれかに記載の露光装置。

【請求項5】 前記検出手段が干渉計であることを特徴とする請求項1から4のいずれかに記載の露光装置。

【請求項6】 前記干渉計の計測ビームが前記光学素子の反射面に対し直交して照射されることを特徴とする請求項5記載の露光装置。

【請求項7】 前記補正手段として、前記光学素子の位置や形状等を補正するアクチュエータが備えられていることを特徴とする請求項1から6のいずれかに記載の露光装置。

【請求項8】 前記投影光学系の像面側に配置される可動体と、前記投影光学系の光学特性を計測するために、前記露光光を検出する受光面が前記可動体に配置される計測手段とを更に備えたことを特徴とする請求項1から7のいずれかに記載の露光装置。

【請求項9】 前記可動体は、前記基板を保持する基板ステージであることを特徴とする請求項8記載の露光装置。

【請求項10】 前記計測手段は、前記投影光学系の光学特性のうち少なくとも波面収差を計測することを特徴とする請求項8または9に記載の露光装置。

【請求項11】 前記計測手段はポイント・ディフракション干渉計を有することを特徴とする請求項8から10のいずれかに記載の露光装置。

【請求項12】 前記露光光に対して前記マスクを相対移動するのに同期して、前記投影光学系から射出される前記露光光に対して前記基板を相対移動させるステージシステムを更に備え、前記露光光で前記基板を走査露光することを特徴とする請求項1から11のいずれかに記載の露光装置。

【請求項13】 マスクに形成されたパターンを露光光で照明し、少なくとも一つの反射型光学素子を備えた投影光学系を介して基板上に転写する露光方法において、

前記反射型光学素子における前記露光光の照射位置での位置情報を検出手段で検出し、前記位置情報に基づき前記光学素子を補正手段で補正することを特徴とする露光方法。

【請求項14】 前記投影光学系の透過光の波面収差を収差検出手段で検出し、その検出結果に基づき前記光学素子を前記補正手段で補正することを特徴とする請求項13記載の露光方法。

【請求項15】 請求項1から12のいずれかに記載の露光装置を用いて、デバイスパターンを感光基板上に転写する工程を含むことを特徴とするデバイス製造方法。

【請求項16】 請求項13または14に記載の露光方法を用いて、デバイスパターンを感光基板上に転写する工程を含むことを特徴とするデバイス製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、露光装置及び露光方法に係り、更に詳しくは、例えば半導体素子や液晶表示素子等の回路デバイスをリソグラフィ工程で製造する際に用いられる露光装置および露光方法ならびにデバイス製造方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】現在、半導体デバイスの製造現場では、波長365nmの水銀ランプのi線を照明光とした縮小投影露光装置、所謂ステッパを使って最小線幅が0.3～0.35μm程度の回路デバイス(64M(メガ)ビットのD-RAM等)を量産製造している。同時に、256Mビット、1G(ギガ)ビットD-RAMクラスの集積度を有し、最小線幅が0.25μm以下の次世代の回路デバイスを量産製造するための露光装置の導入が始まっている。

【0003】その次世代の回路デバイス製造用の露光装置として、KrFエキシマレーザ光源からの波長248nmの紫外パルスレーザ光、或いはArFエキシマレーザ光源からの波長193nmの紫外パルスレーザ光を照明光とし、回路パターンが描画されたマスク又はレチクル(以下、「レチクル」と総称する)と感光基板としてのウエハを縮小投影光学系の投影視野に対して相対的に1次元走査することで、ウエハ上の1つのショット領域内にレチクルの回路パターン全体を転写する走査露光動作とショット間ステッピング動作とを繰り返す、ステッパアンドスキャン方式の走査型露光装置の開発が行われている。

【0004】ところで、半導体デバイスの集積度は、将来的に更に高集積化し、1Gビットから4Gビットに移行することは間違いがなく、その場合のデバイスルールは0.1μmすなわち100nmL/S程度となり、上記の波長193nmの紫外パルスレーザ光を照明光として用いる露光装置により、これに対応するには技術的な課題が山積している。

【0005】最近になって、波長5～15 nmの軟X線領域の光（本明細書では、この光を「EUV（Extreme Ultra Violet）光」とも呼ぶ）を露光光として用いるEUV露光装置の開発が開始されるに至っており、かかるEUV露光装置が最小線幅100 nmの次世代の露光装置の有力な候補として注目されている。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、このようなEUV露光装置においては、その投影光学系が、反射型の光学素子（いわゆるミラー）のみから構成されている。これらの光学素子は反射率が60～70%程度であり、したがって、残りの30～40%のエネルギーにより光学素子が加熱される。光学素子が加熱されると、これによってレンズの反射面に位置ズレや曲率変化等の変形が生じて投影光学系が変動し、露光性能に悪影響を及ぼすという問題がある。

【0007】このような問題に対し、投影光学系は真空中におかれているため気体の対流による冷却は望めず、したがって従来は、光学素子の保持部や背面側等に冷却機構を配置して、光学素子を冷却して投影光学系の変動を抑えるようにしていた。しかし、これらの対策は、いずれも投影光学系を構成する各光学素子の変動を抑え込むものであり、一旦変動が生じてしまうと、それを補正する策がないのが実状であった。

【0008】本発明は、以上のような点を考慮してなされたもので、投影光学系に変動が生じた場合にも、それを補正して露光性能を維持することができる露光装置および露光方法、ならびにこれら露光装置や露光方法を適用することにより安定して高品質なデバイスを製造することのできるデバイス製造方法を提供することを課題とする。

【0009】

【課題を解決するための手段】請求項1に係る発明は、マスク（R）に形成されたパターンを露光光（EL）で照明し、投影光学系（PO）を介して基板（W）上に転写する露光装置（10）であって、前記投影光学系（PO）は、少なくとも一つの反射型光学素子（M1, M2, M3, M4）を有し、かつ前記反射型光学素子（M1, M2, M3, M4）における前記露光光（EL）の照射位置での位置情報を検出する検出手段（80）と、前記位置情報に基づき前記光学素子（M1, M2, M3, M4）を補正する補正手段とを備えていることを特徴としている。

【0010】請求項13に係る発明は、マスク（R）に形成されたパターンを露光光（EL）で照明し、少なくとも一つの反射型光学素子（M1, M2, M3, M4）を備えた投影光学系（PO）を介して基板（W）上に転写する露光方法において、前記反射型光学素子（M1, M2, M3, M4）における前記露光光（EL）の照射位置での位置情報を検出手段（80）で検出し、前記位

置情報に基づき前記光学素子（M1, M2, M3, M4）を補正手段で補正することを特徴としている。

【0011】このような露光装置（10）および露光方法においては、検出手段（80）で投影光学系（PO）を構成する反射型光学素子（M1, M2, M3, M4）における露光光（EL）の照射位置を検出することによって、反射型光学素子（M1, M2, M3, M4）の位置や傾き、変形等の位置情報を得ることができる。そして、その位置情報に基づいて補正手段で光学素子（M1, M2, M3, M4）の位置・傾き・変形等を補正することにより、光学素子（M1, M2, M3, M4）を正しい状態に補正することができる。

【0012】請求項15に係る発明は、請求項1から12のいずれかに記載の露光装置（10）を用いて、デバイスパターンを感光基板（W）上に転写する工程を含むことを特徴としている。

【0013】請求項16に係る発明は、請求項13または14に記載の露光方法を用いて、デバイスパターンを感光基板（W）上に転写する工程を含むことを特徴としている。

【0014】このようにしてデバイスを製造することにより、投影光学系（PO）の反射型光学素子（M1, M2, M3, M4）が補正され、投影光学系（PO）本来の露光性能を維持した状態で、デバイスパターンが感光基板（W）上に転写されることになる。

【0015】

【発明の実施の形態】以下、本発明に係る露光装置および露光方法ならびにデバイス製造方法の実施の形態の一例を、図1ないし図14を参照して説明する。

【0016】図1には、本実施の形態に係る露光装置10の全体構成が概略的に示されている。この露光装置10は、露光光として波長5～15 nmの軟X線領域、例えば波長13.4 nmまたは11.5 nmの光であるEUV光（露光光）ELを用い、ステップアンドスキャン方式により露光動作を行う投影露光装置である。本実施形態では、後述するように、マスクとしてのレチクル（マスク）Rからの反射光束をウエハ（基板、感光基板）W上に垂直に投射する投影光学系POが使用されているので、以下においては、この投影光学系POからウエハWへのEUV光ELの投射方向を投影光学系POの光軸方向と呼ぶとともに、この光軸方向をZ軸方向、これに直交する面内で図1における紙面内の方向をY軸方向、紙面に直交する方向をX軸方向として説明するものとする。

【0017】この露光装置10は、マスクとしての反射型レチクルRに描画された回路パターンの一部の像を投影光学系POを介して基板としてのウエハW上に投影しつつ、レチクルRとウエハWとを投影光学系POに対して1次元方向（ここではY軸方向）に相対走査することによって、レチクルRの回路パターンの全体をウエハW

上の複数のショット領域の各々にステップアンドスキャン方式で転写するものである。

【0018】露光装置10は、EUV光ELをY方向に沿って水平に射出する光源装置12、この光源装置12からのEUV光ELを反射して所定の入射角 $\theta$  ( $\theta$ はここでは約50mradとする)でレチクルRのパターン面(図1における下面)に入射するように折り曲げる折り返しミラーM(照明光学系の一部)、レチクルRを保持するレチクルステージ(ステージシステム)RST、レチクルRのパターン面で反射されたEUV光ELをウエハWの被露光面に対して垂直に投射する反射光学系から成る投影光学系PO、ウエハWを保持するウエハステージ(可動体、基板ステージ、ステージシステム)WST、フォーカスセンサ(14a, 14b)及びアライメント光学系ALG等を備えている。

【0019】前記光源装置12は、図2に示されるようにレーザプラズマ光源16と照明光学系の一部(PRM、IM、30)とから構成される。レーザプラズマ光源16は、例えば半導体レーザ励起によるYAGレーザやエキシマレーザ等の高出力レーザ20と、この高出力レーザ20からのレーザ光Lを所定の集光点に集光する集光レンズ22と、この集光点に配置された銅テープ等のEUV光発生物質24とを備えている。

【0020】このような光源装置12では、高出力レーザ20からのレーザ光Lが集光レンズ22の集光点に配置されたEUV光発生物質24に照射されると、このEUV光発生物質24がレーザ光のエネルギーで高温になり、プラズマ状態に励起され、低ポテンシャル状態に移る際にEUV光ELを放出する。

【0021】このようにして発生したEUV光ELは全方位に発散するため、これを集光する目的で、光源装置12内には放物面鏡PRMが設けられており、この放物面鏡PRMによってEUV光ELは集光されて平行光束に変換されるようになっている。この放物面鏡PRMの内表面にはEUV光を反射するためのEUV光反射層が形成されており、その裏面には冷却装置26が取り付けられている。冷却装置26としては冷却液体を用いるものが冷却効率の点からは好ましいが、これに限定されるものではない。放物面鏡PRMの素材は熱伝導の点から金属が適している。放物面鏡PRMの表面に形成されているEUV光反射層として、2種類の物質を交互に積層した多層膜を用いることにより、特定の波長の光のみを反射することが知られている。例えば、モリブデンMoと珪素Siを数十層コーティングすると波長約13.4nmのEUV光を選択的に反射し、モリブデンとベリリウムとを交互に数十層コーティングした多層膜は波長約11.5nmのEUV光を選択的に反射することが知られている。反射されない波長の光は多層膜等により吸収されて熱に変わるため、放物面鏡PRMの温度が上昇する。この放物面鏡PRMを冷却するために、前記冷却装

置26が必要となるのである。放物面鏡PRMによって平行光に変換されたEUV光ELは、その光軸に垂直な断面形状が円形で、強度分布が一般的な平行光である。

【0022】光源装置12内には、更に、上記の平行光に変換されたEUV光ELを反射して図1の折り返しミラーMの方向に向けて偏向する照明ミラーIMと、この照明ミラーIMのEUV光ELの進行方向後方側(図2における紙面右側)に配置された波長選択窓30とが設けられている。照明ミラーIMは、EUV光ELが照射される側の面が曲面とされ、その曲面の表面には、2種類の物質を交互に積層(例えば、モリブデンMoと珪素Siを数十層コーティング)した多層膜から成る反射層が形成され、この反射層で反射されたEUV光がレチクルR上で丁度細長いスリット状になるよう設計されている。

【0023】図2の紙面内上下方向が後述するレチクルRのパターン面を照明する後述する所定面積を有する円弧状の照明領域(リング状照明領域の一部を取り出したような形状の照明領域)の長手方向に直交する方向に対応し、レチクルRのパターン面が丁度焦点面となっている。この場合、EUV光ELの発光源が有限の大きさを持つため、レチクルRのパターン面が焦点面になっているといってもその焦点面上ではEUV光ELは1mmから10mm程度の幅を有する。従って、円弧状の照明領域を照明するのに細すぎるということは無い。照明ミラーIMの反射面の裏面側には、前述した冷却装置26と同様の冷却装置28が設けられている。

【0024】前記波長選択窓30は、ここでは、可視光をカットする目的で設けられている。これは、多層膜から成るEUV反射膜は、EUV光近辺の波長に対してはかなり鋭い波長選択性を持ち、露光に用いる特定の波長のみを選択的に反射するが、可視光や紫外光なども同様に反射してしまう。これをレチクルRや投影光学系POに導いたりすると、余計なエネルギーのためにレチクルRや投影光学系POを構成するミラー(これらについては後述する)が発熱したり、最悪の場合にはウエハW上に不要な光が転写されて像の劣化を招くおそれもあるため、かかる事態の発生を防止しようとするものである。

【0025】図3には、図2に示される光源装置12をY方向一側(図2における左側)から見た状態が示されている。この図3においては、紙面の奥側に図1に示した折り返しミラーMがある。照明ミラーIMの反射面は図3には表れていないが、図3の紙面奥側からみた場合に長方形をしている。すなわち、図2では凹曲面、この左側面図である図3では長方形であるから、照明ミラーIMの反射面は、円筒の内周面の一部と同様の形状をしていることになる。この場合、EUV光ELは、図2の紙面内では収束されるが、図3の紙面内では平行光のままであるから、図3中の左右方向の長さが後述する円弧状照明領域の長手方向の長さとなる。なお、平行と言

っても前述の通り光源の大きさが有限であるため、空間的コヒーレンシーがゼロと言うわけではない。

【0026】図1に戻り、前記レチクルステージRSTは、図1では図示が省略されているが、実際には図4に示されるように、XY平面に沿って配置されたレチクルステージベース32上に配置され、磁気浮上型2次元リニアアクチュエータ34によって該レチクルステージベース32上に浮上支持されている。このレチクルステージRSTは、磁気浮上型2次元リニアアクチュエータ34によってY方向に所定ストロークで駆動されるとともに、X方向及び $\theta$ 方向（Z軸回りの回転方向）にも微小量駆動されるようになっている。また、このレチクルステージRSTは、磁気浮上型2次元リニアアクチュエータ34によってZ方向及びXY面に対する傾斜方向にも微小量だけ駆動可能に構成されている。

【0027】レチクルステージRSTの周辺部の底部には、永久磁石（図示省略）が設けられており、この永久磁石とレチクルステージベース32上にXY2次元方向に張り巡らされたコイル34aとによって前記磁気浮上型2次元リニアアクチュエータ34が構成されており、制御装置（図示なし）によってコイル34aに流す電流を制御することによってレチクルステージRSTの6次元方向の位置及び姿勢制御が行われるようになっている。

【0028】レチクルステージRSTは、図4に拡大して示されるように、レチクルRをレチクルステージベース32に対向して保持するレチクルホルダRHと、レチクルホルダRHの周辺部を保持するステージ本体35と、ステージ本体35の内部でレチクルホルダRHの背面側（上面側）に設けられ該レチクルホルダRHの温度をコントロールするための温度制御部36とを備えている。前記レチクルホルダRHとしては、静電チャック式のレチクルホルダが用いられている。これは、EUV光ELを露光光として用いる関係から、本実施形態の露光装置10は、実際には、不図示の真空チャンバ内に收容されており、このため真空チャック式のレチクルホルダは使用できないからである。レチクルホルダRHの素材は低膨張ガラスやセラミックなど従来のDUV、またはVUV（XUV）露光装置で使用されている物で差し支えない。

【0029】レチクルホルダRHのレチクル吸着面には、複数の温度センサ38が所定間隔で配置されており、これらの温度センサ38によってレチクルRの温度が正確に測定され、この測定温度に基づいて温度制御部36でレチクルRの温度を所定の目標温度に保つような温度制御を行う。この温度制御部36を構成する冷却装置としては、外部からフレキシブルなチューブを介して冷却液体を引き込む形の液冷式や、ペルチェ素子のような電子素子を用いる方式、さらにはヒートパイプ等の熱交換器を用いる方式などが採用できる。

【0030】レチクルRの表面（パターン面）には、EUV光を反射する反射膜が形成されている。この反射膜は、例えば2種類の物質を交互に積層させた多層膜である。ここでは、モリブデンMoと珪素Siの多層膜を用いて波長13.4nmのEUV光に対して反射率約70%の反射膜を形成している。かかる反射膜の上にEUV光を吸収する物質を一面に塗布し、パタニングする。多層膜のような反射物体をパタニングすると失敗した時の修復が不可能であるのに対し、吸収層を設けてパタニングする方法だとやり直しが可能になるのでパターン修復が可能になる。実在する大部分の物質がEUV光を反射しないため、吸収層に用いることができる。本実施形態では、後述するように、レチクルRのZ方向位置を計測するために、レーザ干渉計（RIFZ1～RIFZ3）が用いられるため、これらのレーザ干渉計からの測定ビーム（可視領域の光）に対して前記反射層と同程度の反射率が得られるような物質により吸収層が形成されている。この他、この吸収層形成材料の選択の基準としてパタニングのし易さ、反射層への密着性、酸化などによる経年変化が小さいなどが挙げられる。

【0031】図5には、レチクルRの一例が示されている。図中の中央にある長方形の領域がパターン領域PAである。斜線が施された円弧状の領域が露光光であるEUV光ELが照射される円弧状照明領域IAである。ここで、円弧状の照明領域を用いて露光を行うのは、後述する投影光学系POの諸収差が最も小さい領域のみを使用できるようにするためである。また、レチクルRのパターン領域PAのX方向両端部には、Y方向に沿って所定間隔で位置合わせマークとしてのレチクルアライメントマークRM1～RM6が形成されている。レチクルアライメントマークRM1とRM4、RM2とRM5、RM3とRM6は、それぞれほぼX方向に沿って配置されている。

【0032】図5から明らかなように円弧状の照明領域IAを用いる場合には、一括露光（静止露光）を行うのは現実的でないため、本実施形態では後述するようにして走査露光が行われる。

【0033】レチクルRは、前述したようにその表面に反射層が形成されるため、レチクルRそのものの素材は特に問わない。レチクルRの素材としては、例えば低膨張ガラス、石英ガラス（例えば、ショット社のゼロデュア（商品名）、コーニング社のULE（商品名）、フッ素がドーピングされた合成石英なども含む）、セラミックス、シリコンウエハなどが考えられる。この素材の選択の基準として、例えばレチクルホルダRHの素材と同一の素材をレチクルRの素材として用いることが挙げられる。かかる場合には、露光用のEUV光ELの照射等による温度上昇に起因してレチクルRやレチクルホルダRHに熱膨張が生じるが、両素材が同一であれば同一量だけ膨張するので、両者の間にずれようとする力（熱応

力)が働かないというメリットがある。これに限らず、異なる物質であっても同じ線膨張率を持った物質をレチクルRとレチクルホルダRHとの素材として用いれば、同じ効果が得られる。例えば、レチクルRにシリコンウエハ、レチクルホルダRHにSiC(炭化珪素)を用いることが考えられる。レチクルRの素材としてシリコンウエハを用いると、パターン描画装置やレジスト塗布装置、エッチング装置などのプロセス装置などがそのまま使用できると言う利点もある。本実施形態では、かかる理由により、レチクルRの素材としてシリコンウエハを用い、レチクルホルダRHをSiCによって形成している。

【0034】図4に示したように、レチクルRの下方(EUV光の入射側)には可動式ブラインド42と、視野絞りとしてのスリット板44とが、レチクルステージベース32の内部に、レチクルRに近接して配置されている。

【0035】図1に戻り、前記投影光学系POは、前記の如く、複数枚、例えば3〜6枚程度の反射光学素子(ミラー)のみから成り、像面側のみがテレセントリックな反射光学系が使用されており、ここでは、投影倍率1/4倍のものが使用されている。従って、レチクルRによって反射され、レチクルRに描かれたパターン情報を含むEUV光ELは、投影光学系POによって4分の1に縮小されてウエハW上に照射される。

【0036】ここで、投影光学系POについて図6を用いてより詳細に説明する。投影光学系POは、レチクルRで反射されたEUV光ELを順次反射する第1ミラーM1、第2ミラーM2、第3ミラーM3、第4ミラーM4の合計4枚のミラー(反射光学素子)と、これらのミラーM1〜M4を保持する鏡筒PPとから構成されている。前記第1ミラーM1及び第4ミラーM4の反射面は非球面の形状を有し、第2ミラーM2の反射面は平面であり、第3ミラーM3の反射面は球面形状となっている。各反射面は設計値に対して露光波長の約50分の1から60分の1以下の加工精度が実現され、RMS値(標準偏差)で0.2nmから0.3nm以下の誤差しかない。各ミラーの素材は低膨張ガラスあるいは金属であって、表面にはレチクルRと同様の2種類の物質を交互に重ねた多層膜によりEUV光に対する反射層が形成されている。

【0037】この場合、第1ミラーM1で反射された光が第2ミラーM2に到達できるように、第4ミラーM4には穴が空けられている。同様に第4ミラーM4で反射された光がウエハWに到達できるよう第1ミラーM1には穴が設けられている。勿論、穴を空けるのではなく、ミラーの外形を光束が通過可能な切り欠きを有する形状としても良い。

【0038】投影光学系POが置かれている環境も真空であるため、露光用照明光の照射による熱の逃げ場がな

い。そこで、本実施形態では、ミラーM1〜M4と当該ミラーM1〜M4を保持する鏡筒PPの間をヒートパイプHPで連結するとともに、鏡筒PPを冷却する冷却装置を設けている。すなわち、鏡筒PPを内側のミラー保持部50と、その外周部に装着された冷却装置としての冷却ジャケット52との2重構造とし、冷却ジャケット52の内部には、冷却液を流入チューブ54側から流出チューブ56側に流すための螺旋状のパイプ58が設けられている。ここでは、冷却液として冷却水が用いられている。冷却ジャケット52から流出チューブ56を介して流出した冷却水は、不図示の冷凍装置内で冷媒との間で熱交換を行い、所定温度まで冷却された後、流入チューブ54を介して冷却ジャケット52内に流入するようになっており、このようにして冷却水が循環されるようになっている。

【0039】このため、本実施形態の投影光学系POでは、露光用照明光(EUV光)ELの照射によりミラーM1、M2、M3、M4に熱エネルギーが与えられても、ヒートパイプHPにより一定温度に温度調整された鏡筒PPとの間で熱交換が行われて、ミラーM1、M2、M3、M4が前記一定温度に冷却されるようになっている。この場合において、ミラーM1、M2、M4等については、その裏面側のみでなく表面側(反射面側)の露光用照明光が照射されない部分にもヒートパイプHPが貼り付けられているので、裏面側のみを冷却する場合に比べてより効果的に前記各ミラーの冷却が行われる。なお、第3ミラーM3の裏面側や第1ミラーM1の表面側のヒートパイプHPは、紙面の奥行き方向において鏡筒PPの内周面に達していることは言うまでもない。なお、鏡筒PPの外観は、四角柱状をなしている。

【0040】図1に戻り、前記ウエハステージWSTは、XY平面に沿って配置されたウエハステージベース60上に配置され、磁気浮上型2次元リニアアクチュエータ62によって該ウエハステージベース60上に浮上支持されている。このウエハステージWSTは、前記磁気浮上型2次元リニアアクチュエータ62によってX方向及びY方向に所定ストロークで駆動されるとともに、 $\theta$ 方向(Z軸回りの回転方向)にも微小量駆動されるようになっている。また、このウエハステージWSTは、磁気浮上型2次元リニアアクチュエータ62によってZ方向、及びXY面に対する傾斜方向(すなわちX軸、Y軸回りの回転方向)にも微小量だけ駆動可能に構成されている。

【0041】ウエハステージWSTの底面には、永久磁石(図示省略)が設けられており、この永久磁石とウエハステージベース60上にXY2次元方向に張り巡らされたコイル(図示省略)とによって前記磁気浮上型2次元リニアアクチュエータ62が構成されており、後述する制御装置(図示なし)により前記コイルに流す電流を制御することによってウエハステージWSTの6次元方

向の位置及び姿勢制御が行われるようになっている。

【0042】ウエハステージWSTの上面には、静電チャック方式の不図示のウエハホルダが載置され、該ウエハホルダによってウエハWが吸着保持されている。また、このウエハステージWSTの図1におけるY方向他側の側面には鏡面加工が施され、可視領域の光に対する反射面74aが形成されている。また、図1では図示が省略されているが、図7に示されるように、ウエハステージWSTのX方向一侧の側面にも鏡面加工が施され、可視領域の光に対する反射面74bが形成されている。

【0043】図1に示したように、ウエハステージWST上面の一端部には、レチクルRに描画されたパターンがウエハW面上に投影される位置と、アライメント光学系ALGの相対位置関係の計測（いわゆるベースライン計測）等を行うための空間像計測器FMが設けられている。この空間像計測器FMは、従来のDUVまたはVUV露光装置の基準マーク板に相当するものである。

【0044】図8(a)、(b)には、この空間像計測器FMの平面図、縦断面図がそれぞれ示されている。これらの図に示されるように、空間像計測器FMの上面には、開口としてのスリットSLTが形成されている。このスリットSLTは、ウエハステージWSTの上面に固定された所定厚さの蛍光発生物質63の表面に形成されたEUV光の反射層64にパターンニングされたものである。なお、反射層64に代えてEUV光の吸収層を設け、この吸収層に開口を形成してもよい。

【0045】前記スリットSLTの下方のウエハステージWSTの上面板には、開口66が形成されており、この開口66に対向するウエハステージWSTの内部には、フォトマルチプライヤ等の光電変換素子PMが配置されている。従って、投影光学系POを介して上方から空間像計測器FMにEUV光ELが照射されると、スリットSLTを透過したEUV光が蛍光発生物質63に到達し、該蛍光発生物質63がEUV光に比べて波長の長い光を発する。この光が光電変換素子PMによって受光されその光の強度に応じた電気信号に変換される。この光電変換素子PMの出力信号も制御装置（図示なし）に供給されるようになっている。

【0046】この露光装置10では、図7に示したような干渉計システム70によって、投影光学系POに対するその位置が正確に測定されるようになっている。この干渉計システム70は、レチクルステージRSTのXY面内の位置を計測する4つのレーザ干渉計RIFX1、RIFX2、RIFY1、RIFY2と、ウエハステージWSTのXY面内の位置を計測する4つのレーザ干渉計WIFX1、WIFX2、WIFY1、WIFY2とを含んで構成されている。

【0047】干渉計RIFX1、RIFX2、RIFY1、RIFY2、WIFX1、WIFX2、WIFY1、WIFY2は、レチクルステージRSTの反射面4

0a、40bあるいはウエハステージWSTの反射面74a、74bに、計測ビーム（図中、干渉計の符号の末尾に「M」を付した符号を付してある。例えば干渉計RIFX1の計測ビームは符号「RIFY1M」）を投射するとともに、投影光学系POの鏡筒PPに取り付けられた固定鏡（参照鏡）72a（図1参照）、72b、76a、76bに、参照ビーム（計測ビームと同様、干渉計の符号の末尾に「R」を付してある。例えば干渉計RIFX1の参照ビームは符号「RIFY1R」）を投射し、それぞれの反射光を受光することにより、その計測ビームの投射位置での固定鏡72a、72b、76a、76bに対するレチクルステージRSTあるいはウエハステージWSTのY方向、X方向の相対位置を計測する。そして、これら干渉計RIFX1、RIFX2、RIFY1、RIFY2、WIFX1、WIFX2、WIFY1、WIFY2の計測値に基づき、レチクルステージRSTあるいはウエハステージWSTの位置および回転角を計測する。そして、干渉計システム70での計測結果に基づき、レチクルステージRSTおよびウエハステージWSTの姿勢制御を自動的に行うのである。

【0048】図1に戻り、上記8つの干渉計の全ての計測の基準となる投影光学系POの鏡筒PPには、レチクルRのZ方向（第1軸方向）の位置を計測する計測装置としてのレチクル面測定用レーザ干渉計RIFZが設けられている。このレーザ干渉計RIFZは、実際には、図7に示されるように、レーザ干渉計RIFZ1、RIFZ2、RIFZ3の3つが所定間隔で配置され、鏡筒PPに固定されているが、図1（及び図4）では、これらが代表的にレーザ干渉計RIFZとして示されている。

【0049】図1に示したように、これらのレーザ干渉計RIFZ1～RIFZ3からの測定ビームは、折り返しミラーMを介して所定の入射角 $\theta$ でレチクルRのパターン面に投射される露光用のEUV光ELの照射領域、すなわち円弧状の照明領域IA内の異なる3点に、露光用のEUV光ELの入射光路と出射光路（反射光路）の中心となる、Z方向と平行な光路を通してレチクルRのパターン面に投射されるようになっている（図1及び図4参照）。このため、レーザ干渉計RIFZ1、RIFZ2、RIFZ3は、レチクルRのパターン面に所定の入射角 $\theta$ で斜めから入射し、入射角と同一の出射角で反射される露光用のEUV光ELに影響を及ぼすことなく、かつ露光用のEUV光ELによって干渉計測定ビームに影響を及ぼされることなく、高精度（例えば、数nm～1nm以下の精度）でレチクルRのZ方向位置を計測することが可能になっている。

【0050】そして、レチクル面測定用レーザ干渉計RIFZ1、RIFZ2、RIFZ3の少なくとも1つにより計測された所定の調整用位置情報に基づいて、露光中（レチクルパターンの転写中）の投影光学系POとレ



チクルRのパターン面との間隔が常に一定に保たれるように、図4に示した磁気浮上型2次元リニアアクチュエータ34を制御してレチクルRの投影光学系POの光軸方向（第1軸方向、Z方向）の位置を調整しつつ、レチクルステージRSTと基板ステージWSTとをY軸方向（第2軸方向）に沿って同期移動させるようになっている。

【0051】この一方、図1に示したように、鏡筒PPを基準とするウエハWのZ方向位置は、投影光学系POに固定された斜入射光式のフォーカスセンサ14によって計測されるようになっている。このフォーカスセンサ14は、鏡筒PPを保持する不図示のコラムに固定され、ウエハW面に対し斜め方向から検出ビームFBを照射する送光系14aと、同じく不図示のコラムに固定され、ウエハW面で反射された検出ビームFBを受光する受光系14bとから構成される。このフォーカスセンサとしては、例えば特開平6-283403号公報等に開示される多点焦点位置検出系が用いられている。このフォーカスセンサ14（14a、14b）は鏡筒PPと一体的に固定されることが重要である。このフォーカスセンサ（14a、14b）によって、ウエハW表面と投影光学系POの間隔、XY平面に対する傾斜が計測され、それに基づいて磁気浮上型2次元リニアアクチュエータ62を介してウエハW表面と投影光学系POとの間隔、平行度が常に一定になるようにウエハステージWSTが制御されるようになっている。

【0052】さらに、本実施形態では、投影光学系POの側面に、前記アライメント光学系ALGが固定されている。このアライメント光学系ALGとしては、ブロードバンド光をウエハW上のアライメントマーク（または空間像計測器FM）に照射し、その反射光を受光して画像処理方式によりマーク検出を行う結像式アライメントセンサ、レーザ光を格子マークに照射して回折光を検出するLIA（Laser Interferometric Alignment）方式のアライメントセンサやAFM（原子間力顕微鏡）のような走査型プローブ顕微鏡等種々のものを用いることができる。

【0053】また、図6に示したように、露光装置10においては、投影光学系POを構成する計4枚の第1ミラーM1、第2ミラーM2、第3ミラーM3、第4ミラーM4に対し、これらの位置をモニターするためのミラーモニター機構（検出手段）80が備えられている。

【0054】このミラーモニター機構80は、図示しないレーザ干渉計を備えて構成されている。このレーザ干渉計は、その計測ビームMIF1、MIF2、MIF3、MIF4を、折り返しミラー81、82、83、84を介して、第1ミラーM1、第2ミラーM2、第3ミラーM3、第4ミラーM4のそれぞれに投射し、また参照ビームMIFRを所定の位置に設けられた参照ミラー85に投射する。そして、それぞれの反射光を受光する

ことにより、その計測ビームMIF1、MIF2、MIF3、MIF4の投射位置での、参照ミラー85に対する第1ミラーM1、第2ミラーM2、第3ミラーM3、第4ミラーM4の相対位置を計測するようになっている。

【0055】このとき、計測ビームMIF1、MIF2、MIF3、MIF4は、第1ミラーM1、第2ミラーM2、第3ミラーM3、第4ミラーM4のそれぞれに対し、EUV光ELの照射位置に、反射面に直交するよう照射されるようになっている。これにより、計測ビームMIF1、MIF2、MIF3、MIF4が、所定の入射角で斜めから入射し、入射角と同一の出射角で反射される露光用のEUV光ELに影響を及ぼすことなく、かつ露光用のEUV光ELによって干渉計測定ビームが影響を及ぼされることなく、高精度（例えば、数nm～1nm以下の精度）で、EUV光ELの照射位置での第1ミラーM1、第2ミラーM2、第3ミラーM3、第4ミラーM4の位置情報を計測することが可能になっている。

【0056】なお、上記計測ビームMIF1、MIF2、MIF3、MIF4は、第1ミラーM1、第2ミラーM2、第3ミラーM3、第4ミラーM4のそれぞれに対し、EUV光ELの照射範囲内で複数位置に照射するような構成とするのが好ましい。このような構成とすれば、第1ミラーM1、第2ミラーM2、第3ミラーM3、第4ミラーM4の傾きや形状変化等の位置情報も計測することが可能となる。

【0057】また、上記折り返しミラー81、82、83、84および参照ミラー85は、これらのミラー間の位置変動による計測誤差を無くすため、同一のベース部材（図示なし）に固定されているのが望ましい。

【0058】そして、投影光学系POを構成する第1ミラーM1、第2ミラーM2、第3ミラーM3、第4ミラーM4には、ミラーモニター機構80で計測した位置情報に基づき、その位置・姿勢・形状等を補正する補正機構（補正手段；図示なし）が備えられている。この補正機構としては、例えば本出願人が既に出願した特開平9-63923号公報に開示された技術のように、第1ミラーM1、第2ミラーM2、第3ミラーM3、第4ミラーM4のそれぞれの背面側や周囲にピエゾ素子等のアクチュエータを配置した構成のもの等がある。この補正機構では、アクチュエータを用いて第1ミラーM1、第2ミラーM2、第3ミラーM3、第4ミラーM4にその背面側および周囲から所望の応力を加えることにより、その位置・姿勢・形状を変えることができる。なお、本実施の形態では、1つのミラーに対して多数のアクチュエータを2次元的に配置しており、これにより各ミラーの位置、姿勢（傾きを含む）、および表面形状のうち、少なくとも1つを任意に調整することが可能となっている。

【0059】次に、上述のようにして構成された本実施形態に係る露光装置10による露光工程の動作について説明する。

【0060】この露光工程では、前記干渉計システム70からの位置情報をモニタしつつ、磁気浮上型2次元リニアアクチュエータ62を介してウエハステージWSTを第1ショットの走査開始位置に位置決めするとともに、磁気浮上型2次元リニアアクチュエータ34を介してレチクルステージRSTを走査開始位置に位置決めして、その第1ショットの走査露光を行う。この走査露光に際し、制御装置（図示なし）では磁気浮上型2次元リニアアクチュエータ34、62を介してレチクルステージRSTとウエハステージWSTとの速度比が投影光学系POの投影倍率に正確に一致するように両ステージの速度を制御し、両ステージのかかる速度比の等速同期状態にて露光（レチクルパターンの転写）が行われる。こうして第1ショットの走査露光が終了すると、ウエハステージWSTを第2ショットの走査開始位置へ移動させるショット間のステッピング動作を行う。そして、その第2ショットの走査露光を上述と同様にして行う。この場合、レチクルステージRSTを戻す動作を省略してスループットの向上を図るべく、第1ショットと第2ショットとの走査露光の方向は反対向きで、すなわち第1ショットの露光がY軸上の一侧から他側の向きで行われた場合には第2ショットの露光は他側から一侧の向きで行われる。すなわち交互スキヤンが行われる。このようにして、ショット間のステッピング動作とショットの走査露光動作とが繰り返され、ステップアンドスキヤン方式でウエハW上の全てのショット領域にレチクルRのパターンが転写される。図9には、このようにして、レチクルパターンがウエハW上の複数ショット領域Sに転写される様子が示されている。図9の場合は、1枚のウエハから効率良く完全な形のショットが得られるよう、一行内に収めるショット数を適宜偶数、奇数としている。なお、走査方向に関するレチクルパターンの転写像とショット（既に形成されているパターン）との倍率誤差を補正する場合は、走査露光中のレチクルステージRSTとウエハステージWSTとの速度比を、投影光学系POの投影倍率と異ならせることもある。

【0061】上記露光工程を行うに先立っては、例えば特開昭57-64139号公報に開示された技術、すなわち球面波を参照波として被検対象と干渉させることによって面形状を測るポイント・ディフラクション干渉計等を収差検出手段（計測手段）として用い、事前に透過波面の収差を測定し、これに基づいて投影光学系POを構成する第1ミラーM1、第2ミラーM2、第3ミラーM3、第4ミラーM4のそれぞれの位置を予め調整しておく。なお、本実施の形態では投影光学系POの波面収差を計測するものとしているが、それ以外の光学特性（例えばコマ収差、球面収差等）を計測しても良い。こ

の状態で第1ミラーM1、第2ミラーM2、第3ミラーM3、第4ミラーM4の状態を「基準状態」とする。

【0062】しかる後に、上記したようにして露光を行うわけであるが、このとき、例えばウエハW一枚露光する毎、あるいは1時間、1日といった所定時間毎等、適宜間隔で定期的に、投影光学系POを構成する第1ミラーM1、第2ミラーM2、第3ミラーM3、第4ミラーM4の位置や傾き、形状等の位置情報（前記基準状態からの変位量を含む）をミラーモニター機構80によって計測する。そして、得られた位置情報に基づき、前記初期状態に対して位置や傾きにズレが生じたり、あるいは形状変化等が生じていれば、アクチュエータ（図示なし）で第1ミラーM1、第2ミラーM2、第3ミラーM3、第4ミラーM4を、所要の寸法だけ移動・姿勢・形状等を変化させることによって補正し、基準状態を維持させるようにする。

【0063】このようにして、透過波面の収差測定によって、投影光学系POの長期的な安定を図り、またミラーモニター機構80およびアクチュエータ（図示なし）により定期的（短期的）な性能保証を行うようになっていく。

【0064】上述したように、上記露光装置10および露光方法ならびにデバイス製造方法では、投影光学系POを構成する第1ミラーM1、第2ミラーM2、第3ミラーM3、第4ミラーM4の位置や傾き、形状等の位置情報をミラーモニター機構80で計測し、得られた位置情報に基づき、補正機構であるアクチュエータ（図示なし）で補正し、基準状態を維持させることができるので、例えば熱などにより投影光学系POを構成する第1ミラーM1、第2ミラーM2、第3ミラーM3、第4ミラーM4に変動が生じた場合にも、それを補正し、本来の露光性能を維持して安定した露光を行うことが可能となる。

【0065】しかも、ミラーモニター機構80では、第1ミラーM1、第2ミラーM2、第3ミラーM3、第4ミラーM4の位置情報の検出にレーザー干渉計を用いる構成となっているので、計測を第1ミラーM1、第2ミラーM2、第3ミラーM3、第4ミラーM4に非接触で計測することができる。しかも、その計測ビームMIF1、MIF2、MIF3、MIF4が、第1ミラーM1、第2ミラーM2、第3ミラーM3、第4ミラーM4の反射面に対し直交して照射される構成となっているので、折り返しミラー81、82、83、84を最小限とすることが可能であり、またEUV光ELの照射位置と同一箇所の位置情報を計測することができるので、高精度な計測を行うことができる。加えて、折り返しミラー81、82、83、84と参照ミラー85を一体のベース部材（図示なし）等に備えれば、第1ミラーM1、第2ミラーM2、第3ミラーM3、第4ミラーM4の相対的な位置関係の変動を保証することが可能となる。

【0066】また、投影光学系POを構成する第1ミラーM1、第2ミラーM2、第3ミラーM3、第4ミラーM4には、その位置・姿勢・形状等を補正する補正機構として、例えばそれぞれの背面側や周囲にピエゾ素子等のアクチュエータが備えられている。これにより、アクチュエータで第1ミラーM1、第2ミラーM2、第3ミラーM3、第4ミラーM4に所望の応力を加えることにより、その位置・姿勢・形状を補正することができる。

【0067】また、上記露光方法では、例えば露光装置10の設置時等に、投影光学系POの透過波面の収差を測定して、投影光学系POを構成する第1ミラーM1、第2ミラーM2、第3ミラーM3、第4ミラーM4のそれぞれの位置を予め調整し、しかる後に、定期的にミラーモニター機構80で計測した位置情報に基づく補正を行う構成となっている。これにより、初期状態でキャリブレーションを行い、露光性能の保証が得られた後、その性能を容易に維持することが可能となる。また、前述の収差検出手段（特に受光系）をウエハステージWSTに設けるようにし、その収差検出手段によって定期的に投影光学系POの光学特性（収差等）を計測することが望ましい。これにより、ミラーモニター機構80のみによる調整によって生じ得る光学特性の残留誤差を検出することができ、その検出結果に基づき、アクチュエータによってミラーM1～M4の少なくとも1つを調整して、その残留誤差を補正することが可能となる。

【0068】さらに、上記露光方法では、計測ビームMIF1、MIF2、MIF3、MIF4は、第1ミラーM1、第2ミラーM2、第3ミラーM3、第4ミラーM4のそれぞれに対し、EUV光ELの照射範囲内で、複数位置に照射するような構成とすることも可能である。このような構成とすれば、第1ミラーM1、第2ミラーM2、第3ミラーM3、第4ミラーM4の傾きや形状変化等の位置情報も計測することが可能となり、より高精度な補正が可能となる。

【0069】そして、上記露光装置10は、露光光を略円弧スリット状のEUV光ELとし、反射型のレチクルRおよび反射型光学素子のみからなる投影光学系POを介してウエハWにレチクルRのパターンを転写する構成となっており、非常に微細なパターン、例えば100nmL/Sパターンの高精度な転写が十分に可能となる。そして、このような露光装置10において上記投影光学系POの変動補正機能を備えることにより、その性能の維持が容易に行えるようになる。

【0070】加えて、上述したような露光装置10及び露光方法を用いて、ウエハWにレチクルRのパターン（デバイスパターン）を転写することによってデバイスを製造することにより、投影光学系PO本来の露光性能を維持した状態で、デバイスパターンがウエハWに転写されることになる。したがって、所定の品質のデバイスを安定して製造することが可能となる。

【0071】なお、上記実施の形態において、ミラーモニター機構80によるモニタリングを、例えばウエハW一枚露光する毎、あるいは1時間、1日といった所定時間毎等の適宜間隔で行うように述べたが、その間隔は所要の露光性能を得るためであればいかなる間隔であってもよく、例えば露光動作中も連続的にモニタリングを行うリアルタイム制御を行うような構成としても良いし、また必要時のみ不定期に適宜モニタリングを行うような構成とすることも可能である。

【0072】また、EUV光ELを円弧状照明領域IAにおいて照明する構成としたが、例えば投影光学系POを構成するミラーの枚数を増やす等すれば、矩形形状の照明領域を得ることが可能であり、このような場合にも上記と同様の構成が適用可能である。しかしながら、実際には、ミラー枚数を増やすと投影光学系POトータルでの反射率が低下するのでスキャンを遅くしなければならず、スループットの低下につながり、したがって最小限のミラー枚数で投影光学系POを構成するのが好ましい。また、レーザプラズマ光源16はテーパターゲットに限定されるものではなく、他の方式（例えばガスジェットターゲット）であっても構わない。さらにレーザプラズマ光源16の代わりにSORを用いるようにしても良い。

【0073】さらに、上記実施の形態で、光学素子を補正する補正機構として、例えばピエゾ素子等のアクチュエータを例に挙げたが、光学素子の位置・姿勢・形状等を所要の精度で補正できるのであれば、上記にあげた特開平9-63923号公報に開示された技術に限らず、適宜他の技術を採用することが可能である。

【0074】また、投影光学系POにおいて、第1ミラーM1、第2ミラーM2、第3ミラーM3、第4ミラーM4の例えば変形等については、所要の精度範囲内に確実に維持できる、あるいは露光性能上、十分な精度が確保できている、等といった場合には、補正機構を位置・姿勢・形状の全てを補正できる構成とするのではなく、例えば、単に第1ミラーM1、第2ミラーM2、第3ミラーM3、第4ミラーM4の位置のみを補正できるような構成とすることも可能である。

【0075】加えて、上記実施の形態では、ミラーモニター機構80で、第1ミラーM1、第2ミラーM2、第3ミラーM3、第4ミラーM4の位置変動がないように制御する構成としたが、これを、例えば所望の位置関係となるようにアクティブに制御する構成とすることも可能である。例えば、照射熱により第1ミラーM1、第2ミラーM2、第3ミラーM3、第4ミラーM4の形状、例えば曲率半径が時間の経過とともに変化すること、およびその変化率のデータが例えば実験等により分かっているのならば、ミラーモニター機構80で得られる位置情報を元に、第1ミラーM1、第2ミラーM2、第3ミラーM3、第4ミラーM4の位置を制御することが可能

となる。ちなみに、第1ミラーM1、第2ミラーM2、第3ミラーM3、第4ミラーM4の曲率変化だけであれば、第1ミラーM1、第2ミラーM2、第3ミラーM3、第4ミラーM4の相互の間隔調整により投影光学系POの性能を維持することが可能である。

【0076】そして、投影光学系POは、少なくとも一つの反射型光学素子を備えているのであれば、全反射系、あるいは反射屈折系のいずれであっても良い。当然、投影光学系POを構成する光学素子の枚数等も上記にあげた構成に限定する意図はない。また、その倍率も、縮小系のみならず等倍および拡大系のいずれであっても良い。さらに、投影光学系POは像面側のみがテレセントリックであるものとしたが、物体面及び像面の両方がテレセントリックな光学系であっても良い。また、投影光学系POの視野の形状も任意でよい。そして投影光学系POの開口数は、露光波長が13.4nmであるときには、 $N.A. \geq 0.1$ 、望ましくは $N.A. \geq 0.12$ 、露光波長が11.5nmであるときには、 $N.A. \geq 0.8$ 、望ましくは $N.A. \geq 0.1$ であると共に良い。

【0077】この他、例えば、露光装置10として走査型のものを例に挙げたが、例えばステップアンドリピート型の露光装置にも本発明の技術を同様に適用することができる。また、露光装置の種類としては半導体製造用のものに限定されることなく、例えば、角形のガラスプレートに液晶表示素子、又はプラズマディスプレイ等のデバイスパターンを転写する液晶用の投影露光装置や、薄膜磁気ヘッドや撮像素子(CCD)、さらにはレチクル又はマスク等を製造するための露光装置等にも本発明の技術を広く適用することが可能である。また、露光装置10で露光光として用いる光源についても、少なくとも一つの反射型光学素子を有した投影光学系を介するのであれば、EUV光ELに限らず、ArFエキシマレーザー(193nm)、KrFエキシマレーザー(248nm)、F<sub>2</sub>レーザー(157nm)、Ar<sub>2</sub>レーザーあるいはYAGレーザーや金属蒸気レーザーの高調波、さらにはイオンビーム等の荷電粒子線を用いることもできる。

【0078】これ以外にも、本発明の主旨を逸脱しない範囲内であれば、いかなる構成を採用しても良く、また上記したような構成を適宜選択的に組み合わせたものとしても良いのは言うまでもない。

【0079】

【発明の効果】以上説明したように、請求項1に係る露光装置によれば、検出手段で投影光学系を構成する反射型光学素子における露光光の照射位置を検出することによって、反射型光学素子の位置や傾き、変形等の位置情報を得ることができ、その位置情報に基づいて補正手段で光学素子の位置・傾き・変形等を補正することにより、光学素子を正しい状態に補正することができる。し

たがって、例えば熱などにより投影光学系を構成する各光学素子の変動した場合にも、それを補正し、本来の露光性能を維持して安定した露光を行うことが可能となる。

【0080】請求項2に係る露光装置によれば、検出手段では、一つの反射型光学素子に対し、複数位置で位置情報を検出するので、光学素子の傾きや形状変化等の位置情報も得ることができ、より高精度な補正が可能となる。

【0081】請求項3に係る露光装置によれば、マスクが反射型である構成となっている。さらに、請求項4に係る露光装置によれば、露光光がExtreme Ultra Violet光であり、かつ投影光学系を構成する光学素子が全て反射型光学素子である構成となっている。これにより、露光装置が、EUV光を露光光として用いる構成となり、したがって、非常に微細なパターン、例えば100nmないしそれ以下の微細なL/Sパターン及び70nm又はそれ以下の孤立パターンの高精度な転写が可能となる。そして、このような露光装置に前記投影光学系の変動補正機能を備えることにより、その性能維持が容易に行えるようになる。

【0082】請求項5に係る露光装置によれば、検出手段として干渉計を備える構成となっているので、光学素子の位置変動を非接触で計測することができる。また、請求項6に係る露光装置によれば、干渉計の計測ビームが光学素子の反射面に対し直交して照射される構成となっている。これにより、光学素子における露光光の照射位置と同一箇所の位置情報を干渉計で計測することができ、高精度な計測を行うことができる。また、計測ビームを光学素子の反射面に直交して照射することにより、計測ビームの光路上に配する折り返しミラー等を最小限とすることができ、さらに折り返しミラーを参照ビーム用の参照ミラー等とともに、一体のベース部材等に備えるようにすれば、投影光学系を構成する複数の反射型光学素子の相対的な位置関係の変動を保証することが可能となる。

【0083】請求項7に係る露光装置によれば、補正手段として、光学素子の位置や形状等を補正するアクチュエータが備えられた構成となっている。これにより、例えばピエゾ素子等のアクチュエータを駆動させて、光学素子に所要の応力を加えることによって、光学素子を所要寸法だけ移動・姿勢・形状等を補正することができる。

【0084】請求項8に係る露光装置によれば、投影光学系の像面側に配置される可動体と、投影光学系の光学特性を計測するために、露光光を検出する受光面が可動体に配置される計測手段とを更に備えた構成となっている。また、請求項9に係る露光装置によれば、可動体は基板ステージであり、請求項10に係る露光装置によれば、計測手段は、投影光学系の光学特性のうち少なくとも

も波面収差を計測するものである。さらに、請求項 11 に係る露光装置によれば、計測手段はポイント・ディフракション干渉計を有するものである構成となっている。これにより、計測手段で定期的に投影光学系の光学特性を計測すれば、補正手段のみによる光学素子の調整によって生じ得る光学特性の残留誤差を検出することができ、その検出結果に基づき、補正手段で光学素子を調整してその残留誤差を補正することが可能となる。

【0085】請求項 12 に係る露光装置によれば、露光光に対してマスクを相対移動するのに同期して、射出される露光光に対して基板を相対移動させるステージシステムを更に備え、露光光で基板を走査露光する構成となっている。これにより、ステップアンドスキャン方式の露光装置において上記効果を得ることができる。

【0086】請求項 13 に係る露光方法によれば、検出手段で投影光学系を構成する反射型光学素子における露光光の照射位置を検出することによって、反射型光学素子の位置や傾き、変形等の位置情報を得ることができ、その位置情報に基づいて補正手段で光学素子の位置・傾き・変形等を補正することにより、光学素子を正しい状態に補正することができる。したがって、例えば熱などにより投影光学系を構成する各光学素子が変動した場合にも、それを補正し、本来の露光性能を維持して安定した露光を行うことが可能となる。

【0087】請求項 14 に係る露光方法によれば、投影光学系の透過光の波面収差を収差検出手段で検出し、その検出結果に基づき光学素子を補正する構成となっている。このような透過光の波面収差検出による補正を、例えば露光装置の設置時に行えば、初期状態での露光性能の保証を得ることができ、これに加えて反射型光学素子の位置情報による補正を適宜間隔で行うことにより、露光性能の維持がより容易となる。

【0088】請求項 15 に係るデバイス製造方法によれば、請求項 1 から 12 のいずれかに記載の露光装置を用いて、デバイスパターンを感光基板上に転写する工程を含む構成となっている。このような露光装置でデバイスを製造することにより、投影光学系本来の露光性能を維持した状態で、デバイスパターンが感光基板上に転写されることになる。したがって、所定の品質のデバイスを安定して製造することが可能となる。

【0089】請求項 16 に係るデバイス製造方法によれば、請求項 13 または 14 に記載の露光方法を用いて、デバイスパターンを感光基板上に転写する工程を含む構成となっている。このような露光方法を用いてデバイスを製造することにより、投影光学系本来の露光性能を維持した状態で、デバイスパターンが感光基板上に転写されることになる。したがって、所定の品質のデバイスを安定して製造することが可能となる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図 1】 本発明に係る露光装置および露光方法ならびにデバイス製造方法の実施形態における露光装置の構成を概略的に示す図である。

【図 2】 図 1 の光源装置の内部を構成を示す図である。

【図 3】 図 2 の光源装置の左側面図である。

【図 4】 図 1 のレチクルステージ近傍の構成各部を詳細に示す図である。

【図 5】 レチクルの概略平面図である。

【図 6】 図 1 の投影光学系の内部構成を概略的に示す図である。

【図 7】 レチクルステージとウエハステージの XY 平面内の位置を計測する干渉計システムの構成を説明するための図である。

【図 8】 (a) は空間像計測器を示す平面図、(b) は (a) の空間像計測器を示す側面図である。

【図 9】 レチクルパターンがウエハ上の複数ショット領域に転写される様子を示す図である。

#### 【符号の説明】

10 露光装置

80 ミラーモニター機構（検出手段）

EL EUV 光（露光光）

M1, M2, M3, M4 反射型光学素子

MIF1, MIF2, MIF3, MIF4 計測ビーム

PO 投影光学系

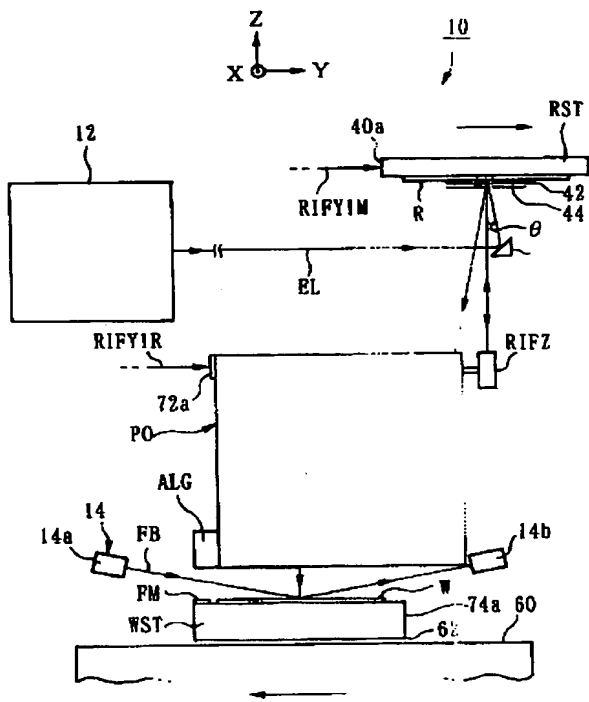
R レチクル（マスク）

RST レチクルステージ（ステージシステム）

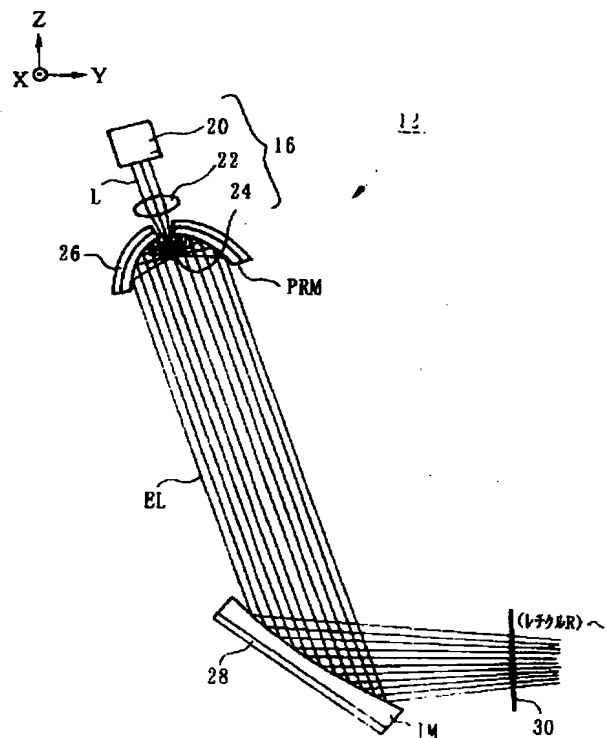
W ウエハ（基板、感光基板）

WST ウエハステージ（可動体、基板ステージ、ステージシステム）

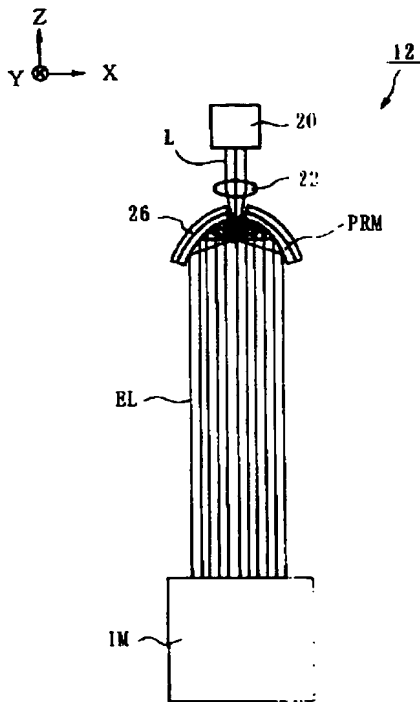
【図1】



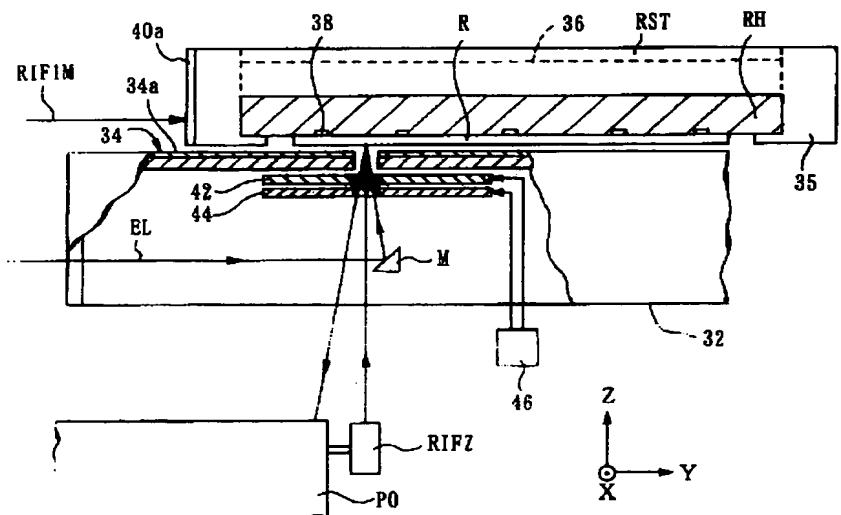
【図2】



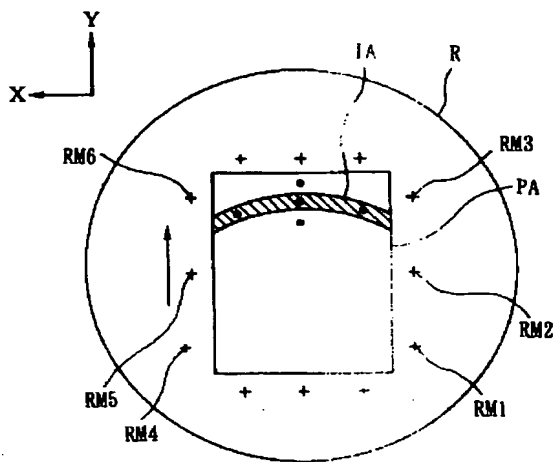
【図3】



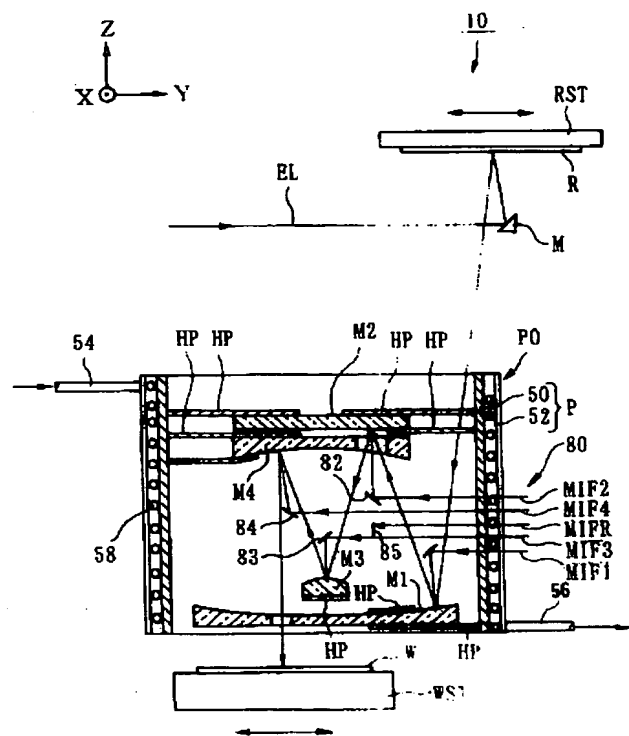
【図4】



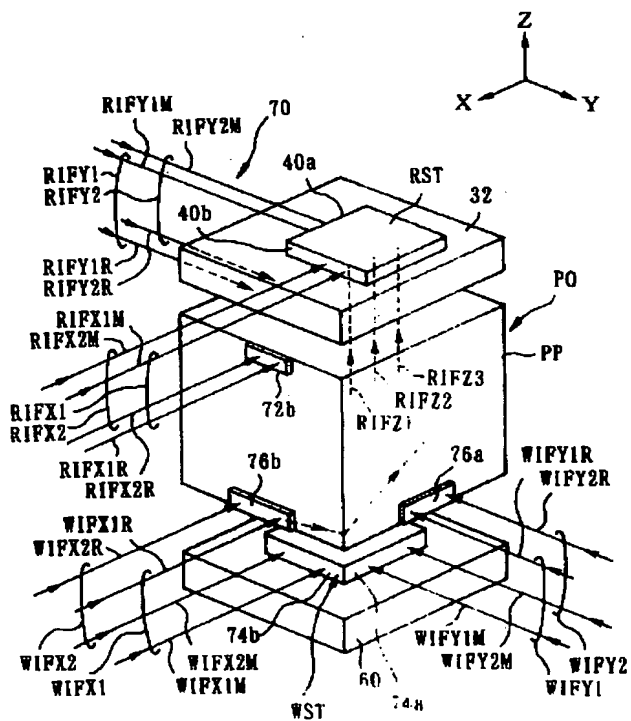
【圖5】



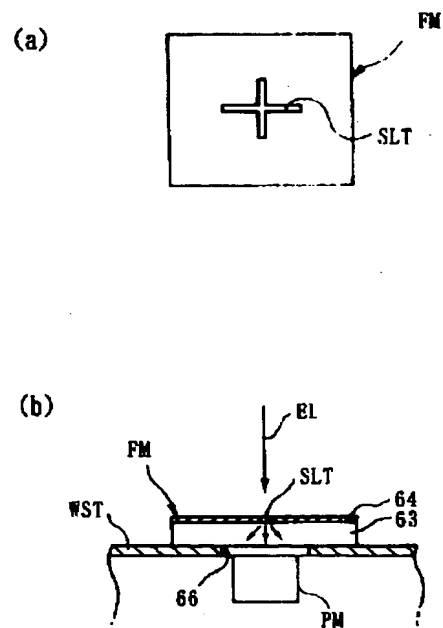
【圖6】



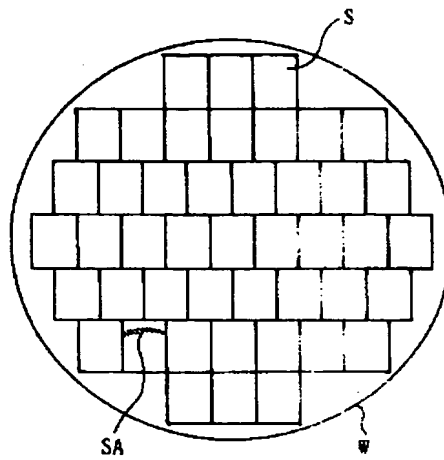
【圖7】



【圖8】



【図9】



---

フロントページの続き

Fターム(参考) 2H097 AB09 BB10 CA13 CA15 GB01  
LA10  
5F046 CC01 CC03 CC05 CC16 CC18  
DA05 DA13 DA14 DB05 EA02  
EB03 FA03 FA17 GA03 GA06  
GA11 GA12 GA14 GA18 GB01  
GC03 GD10